

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 60-073414

(43)Date of publication of application : 25.04.1985

(51)Int.Cl.

G01C 19/56

G01P 9/04

(21)Application number : 58-183598

(71)Applicant : YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC
CORP

(22)Date of filing : 30.09.1983

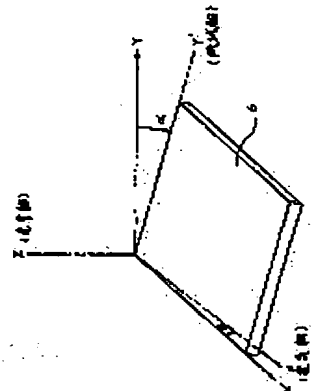
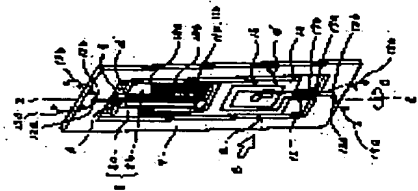
(72)Inventor : UEDA TOSHITSUGU

(54) OSCILLATION TYPE ANGULAR SPEED METER

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain an oscillator which has extremely low sensitivity to temperature whereas an inertia transducing part 8 is excited easily by cuff-shaped electrodes with low electric power by aligning a measurement axis to the mechanical axis of a substrate and setting the cutting angle of the substrate almost to $\alpha = \pm 5^\circ$.

CONSTITUTION: The substrate 6 uses the plate obtained by rotating a plate which is perpendicular to a Z axis by an angle α (-5° to 5°) around an X axis and by an angle β (-10° to 10°) around an Y' axis, and an electrode, coil etc., are formed with high precision. A frame 7 is supported rotatably around the axis Z of rotation given an angular speed Q to be measured. This axis Z is selected coinciding with the direction of the mechanical axis Y' of crystal. A couple of tuning fork type oscillators 8a and 8b forming the inertia transducing part 8 in the frame is supported on the 1st ligament formed in the frame while containing the axis Z, and cuff-shaped counter electrodes 10a and 10b for exciting tuning fork type oscillators are formed on the surface by performing sputtering and then etching.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of
rejection][Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-73414

⑮ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和60年(1985)4月25日

G 01 C 19/56
G 01 P 9/04

6723-2F
7027-2F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑭ 発明の名称 振動式角速度計

⑯ 特 願 昭58-183598

⑰ 出 願 昭58(1983)9月30日

⑱ 発 明 者 植 田 敏 嗣 武蔵野市中町2丁目9番32号 横河北辰電機株式会社内
⑲ 出 願 人 横河北辰電機株式会社 武蔵野市中町2丁目9番32号
⑳ 代 理 人 弁理士 小沢 信助

明 細 書

1 発明の名称

振動式角速度計

2 特許請求の範囲

- (1) フォトリソグラフィとエッチング加工法により、同一基板上に振動による慣性変換部とコリオリ力検出部とを一体に形成したことを特徴とする振動式角速度計。
- (2) 特許請求の範囲(1)において、基板として単結晶材を用いたことを特徴とする振動式角速度計。
- (3) 特許請求の範囲(2)において、単結晶材として自身に圧電特性を有する部材を用いたことを特徴とする振動式角速度計。
- (4) 特許請求の範囲(1)において、基板として非結晶材を用いると共に少く共慣性変換部として上記基板上に圧電特性を有する薄膜部材を蒸着法又はスパッタリング法で形成せしめたことを特徴とする振動式角速度計。
- (5) 特許請求の範囲(1)において、コリオリ力の検出を、基板上に形成したコイルにより行うことを

特徴とする振動式角速度計。

- (6) 特許請求の範囲(1)において、コリオリ力の検出を、基板と対向配置せしめた固定電極との間で形成される静電容量の変化を利用することを特徴とする振動式角速度計。
- (7) 特許請求の範囲(5)において、コリオリ力の検出を基板自身の圧電特性による起電力を利用することを特徴とする振動式角速度計。
- (8) 特許請求の範囲(1)において、慣性変換部の固有振動数とコリオリ力の検出部の固有振動数を同一にしたことを特徴とする振動式角速度計。

3 発明の詳細な説明

<産業上の利用分野>

本発明は航空機等の移動体の姿勢制御信号源として必須な角速度計に関する。特にコリオリ力を利用した振動式角速度計の新規な構成に関し、小形、高精度で信頼性の高い角速度計を提供する。

<従来例>

コリオリ力を用いた音叉形の振動式角速度計の一例を第1図により簡単に説明する。1は測定す

べき角速度 Ω が与えられる回転軸 Z を有するベース部材、 $2_a, 2_b$ は軸 Z を挟んで振動面が対向配置されるようにベース部材 1 に取付けられた音叉素子で、慣性変換部を構成し、それ自身がピエゾ圧電素子、又は外部よりの電磁手段等で矢印 \odot で示すように周期的に互いに逆位相で振動する。 $3_a, 3_b$ はこれら音叉素子の先端に形成された中継部材、 $4_a, 4_b$ はこれら中継部材に取付けられ、回転軸 Z を挟みその振動面が音叉素子とは 90° 異って延長形成された、コリオリ力検出部を構成する検出素子であり、自身がピエゾ圧電素子又は適当な振動検出手段が蒸着又は接合されている。

このような構成において、音叉素子及び検出素子の一方の側に着目し、その音叉素子の振動の振幅を a とすると、その位置 r は、

$$r = a \sin \omega t \quad (1)$$

と表わされる。従ってその速度 v は、

$$v = \dot{r} = a \omega \cos \omega t \quad (2)$$

となる。ベース部材 1 が軸 Z のまわりに角速度 Ω で回転するとき、音叉素子とは 90° 異って配置さ

れた検出素子にはコリオリ力が発生することが知られており、その力 F は、検出素子の質量を m としたとき、

$$F = 2m v \cdot \Omega = \Omega \cdot 2m \cdot a \omega \cos \omega t \quad (3)$$

となり、振動的に発生する(3)式で与えられるコリオリ力 F を測定することで、角速度 Ω を求めることが可能である。

このような構成の角速度計の問題点は、

- (1) 複数の要素を接合、組立てる構成のため、小型化に限界がある。
- (2) 同様の要因で製作精度に限界があり、精度の良い角速度計の実現が困難である。
- (3) 同様の要因で長期的な安定性に欠ける。
- (4) 同様の要因で故障の確率が高く、信頼性に欠ける。

<本発明の構成>

本発明は従来技術の上記問題点を解消し、小型で製作精度が高く、安定性、信頼性に優れた振動式の角速度計の提供を目的とするものであり、その構成上の特徴は、フォトリソグラフィとエッチ

ング加工法により、同一基板上に振動による慣性変換部とコリオリ力検出部とを一体に形成したことにある。

近年集積回路製造技術の進歩に伴い、シリコン、水晶等の単結晶等を用いたフォトリソグラフィ(写真複写)技術と結晶軸による腐蝕感度差を利用した異方性エッチング技術とにより、高精度に微細加工することが容易となっている。

本発明はこのようなフォトリソグラフィとエッチング加工法を用いて、慣性変換部とコリオリ力検出部とを同一基板上に一体形成したものであり、エッチング加工の対象となる部材としては上記のシリコン(Si)、水晶(SiO_2)に代表される単結晶材、特に水晶やニオブ酸リチウム等の、それ自身が圧電特性を有する部材が、本発明の角速度計を実現する上で有用である。これは、慣性変換部を振動させる手段として、単に電極を配置すればよく、製作が容易となるためである。しかし、この他にも溶融石英等の非結晶材又は金属上にPZT、酸化亜鉛、酸化カドミウム等の圧電素子を蒸着するこ

とによっても同様のものを実現可能である。

以下自身に圧電特性を有する単結晶材である水晶を例にとり、本発明角速度計の構成を図面により説明する。第2図、第3図は結晶材5より、薄い基板6(厚さ数100ミクロンオーダー)を切出す際の軸の選び方の説明図である。基板6は、光学軸(Z 軸)と直交する板に近い基板を用いる。具体的には、 Z 軸に垂直な板を X 軸のまわりに角 α ($-5^\circ \sim +5^\circ$)、 Y 軸のまわりに角 β ($-10^\circ \sim +10^\circ$)回転して得られる板、いわゆる $+5^\circ - X$ 系の板を用いると良い。これは水晶板のフッ化水素酸に対するエッチング特性が、 Z 軸に対して速く、これに直交する軸に対しておそいため、 Z 板に近い板がきわめて良好なエッチング加工性を有するためである。

第4図は、このようにして切出された水晶基板6をエッチング加工する工程の説明図であり、(1)は加工対象基板6の側断面であり、まず両面にクロム(Cr)と金(Au)をスパッタし(2)の工程)、導電部として残したい個所にレジストリを塗付した

後露光・現像する(4)の工程)。次にエッチングによりレジスト施付部以外のクロム、金を除去し(4)の工程)、更に水晶の異方性を利用したエッチングにより、所定の箇所(a, b, c)の抜き落し加工を行う(5)の工程)。この場合に抜き落とされる部分のギャップは、エッチングで残された隣接するパターン間の距離 Δ とエッチング時間、薬品等により高精度に管理可能である。

このようなエッチング加工技術により、基板を任意の形状に高精度加工し、又基板上に任意のパターンで電極、コイル等を高精度で形成することが可能である。尚コイル、電極はエッチング後にスパッタでも形成できる。

<実施例>

第5図はこのような加工技術を用いて製作された本発明の振動式角速度計の一実施例を示し、次の4種の基本要素が同一基板上に一体形成されている。

- ① フレーム
- ② リガメント

一体に延長形成された板状のコリオリ力検出部であり、上記結合部と反対側は軸2を含む第2のリガメント15を介してフレーム7に支持されている。16は変換部14の片面にスパッタとエッチング加工法で形成されたループ状の検出コイルであり、その一端はリガメント15の表側に形成されたリード17_aと端子18_aを介して、又、他端はリガメント15の裏側に形成されたリード17_bと端子18_bを介して矢々リード線19_a, 19_bで引出される。

2軸に角速度が印加されると、音叉振動子 8_a , 8_b の振動方向 d , d' に対して直角方向に角速度 Ω に比例した振幅のコリオリ力による振動が矢印 e , e' に示す方向にコリオリ力検出部14に発生する。矢印Bは検出コイル16と平行に供給される磁界であり、フレーム7と一体に動く部材に取付けられた永久(電磁石)手段等で供給される。従って検出コイル16の e , e' 方向の振動により、コイルのループはこの磁束Bを周期的に切ることになり、検出コイルにはコリオリ力検出部14の振動の速度に比例した交流信号が誘起され、この信号よりコ

③ 慣性変換部(振動部)

④ コリオリ力検出部

7はフレームを示し、測定すべき角速度 Ω が与えられる回転軸2のまわりに回転可能に支持されている。この軸2は第2図、第3図で説明した水晶の機械軸Y'方向と一致するように選定される。 8_a , 8_b はフレーム内に形成された慣性変換部8を形成する一対の音叉振動子であり、軸2を含んでフレーム内に形成された第1リガメント9に支持されており、音叉振動子を励振させるためのカプス状の対向電極10_a, 10_bがその表面にスパッタされた後、エッチング加工法で形成されている。電極10_a, 10_bはリガメント9表面に形成されたリード11_a, 11_b及びフレームに形成された端子12_a, 12_bを介してリード線13_a, 13_bにより引出されて発振回路に接続される。発振回路が自励振すると、音叉振動子 8_a , 8_b は、矢印 d , d' に示すごとく、フレーム7の面に平行に固有振動数で互いに逆位相で振動する。

14は慣性変換部の音叉振動子 8_a , 8_b の結合部に

リオリ力即ち角速度 Ω を測定することができる。

コリオリ力の検出手段は、このようにコイルによる電磁誘導的な手段の他、検出部14の面上にフォトリソグラフィ等で板状の電極を形成し、これに近接して配置した固定電極14'との静電容量変化を用いる手段でも実現できるし、基板として水晶を用いる場合にはその圧電特性を利用し、リガメント15上に音叉振動子 8_a , 8_b と同様な電極を用いてコリオリ力により発生する圧電気による起電力を測定することもできる。更に検出部14面上にミラーを形成し光学的に振動を検出することも可能であって、種々の変位検出手段を用いることができる。

第6図乃至第10図は本発明角速度計の変形実施例を示すものであって、矢々について簡単に説明する。

第6図は慣性変換部とコリオリ力検出部とを、フレームの中空部を結んで回転軸2を含むロッド20に一体化し、リガメントを設けない簡素な構造を特徴とし、ロッドの一面に第5図で説明した電

板 $10_a, 10_b$ が形成されて矢印 δ 方向の振動が与えられる。ロッド 20 の裏面には直線状にコイル 16 が形成されていて、コリオリ力により発生するロッドの矢印 δ 方向の振動を、第 5 図と同様な電磁誘導の原理で検出する。

第 7 図の例は、慣性変換部 8 とコリオリ力検出部 14 とを第 5 のリガメント 21 で区分して各部を構造的に独立させたものである。慣性変換部の構成は第 5 図とやや異なり、軸 Z と平行する方向に長手方向を有する一対の振動部材 $8_c, 8_d$ 上に電極 $10_a, 10_b$ が形成され、その振動方向は矢印 δ で示すごとく、軸 Z と直交方向である。コリオリ力検出部の構成、動作は第 5 図と同一である。

第 8 図は回転軸 Z を含む第 1、第 2 リガメント 9, 15 によってコリオリ力検出部 14 を形成する枠体を支持し、さらにこの枠体に対し Z と直交する軸 Z' に更に一対のリガメント 22, 23 を設けて板状の慣性変換部 8 を支持したものである。慣性変換部 8 は適当な手段で矢印 δ 方向の振動が与えられ、コリオリ力検出部 14 に生ずる矢印 δ 方向の振動は

14 の枠体に沿って形成したコイル 16 によって第 5 図と同様な電磁誘導の原理で検出される。

第 9 図は第 1 のリガメントを軸 Z に並行な一対のリガメント $9_a, 9_b$ に分けて構成してコリオリ力検出部 14 の一方を両端で支持する構成を示し、更にリガメント $9_a, 9_b$ 上に慣性変換部 8 を形成してリガメント $9_a, 9_b$ を矢印 δ 方向に振動させる。矢印 δ 方向に生ずるコリオリ力による振動は第 5 図と同様な電磁誘導の原理で検出される。このようにリガメントを分けることにより、コイル、電極等のリードの配置が容易となるメリットがある。

第 10 図は、慣性変換部 8 とコリオリ力検出部 14 とを共通の枠体 24 で形成してリガメント 9, 15 でフレーム 7 に支持させた構成を示し、枠体の矢印 δ 方向の振動に対し、矢印 δ 方向に発生するコリオリ力による枠体の振動を第 5 図と同様な電磁誘導の原理で検出するようにしたものである。

このように、フレーム 7 に支持される慣性変換部 8 とコリオリ力検出部 14 の形状は種々の変形が可能であり、いずれの場合でもエッチング加工技

術により高精度の加工ができる。なお、図 6-10 では検出手段としていずれも電磁誘導による方法について述べたが第 5 図で説明したよう、静電容量、圧電気などさまざまな手法も用いることができる。

第 11 図は振動式角速度計の信号処理の概念を示すブロック線図であり、発振器 25 により慣性変換部 8 が励振され、コリオリ力検出部 14 からの交流信号 e_p が増幅器 26 で増幅され、同期整流回路 27 に導かれる。28 は発振器 25 の出力を位相シフトして e_f の位相に合わせて同期整流回路 27 へ基準位相信号を供給する。通常は同期整流回路 27 の直流出力 E_D を角速度出力信号として利用するが、この信号を点線以示すように、コリオリ力検出部 14 にフィードバックしてサーボ系を構成することも可能である。この場合は変調器 29 により、 E_D で発振器 25 の出力を振幅変調して交流変換した後適当な位相補償回路 30 を介してコリオリ力検出部 14 に e_D としてフィードバックし、機械的な振動の振幅を元に戻すように作動させる。即ちループゲインが高い場合に

はこのサーボ系によって、コリオリ力の検出部 14 の機械的振動は極めてわずかとなり、バネ特性に非線形領域がある場合にはこの領域を使用しないで直線性の良い零点付近のみを利用することができるので、変換特性を向上させることができる。この場合の出力信号は E_D の他フィードバック交流信号 e_D を利用することもできる。

尚零点変動の影響や、コリオリ力検出部を静電容量変化で検出した場合の温度変動による影響等の補償は、同一特性の角速度計 2 個を差動的に用いることで有効に解決できる。本発明の角速度計は同一基板上にエッチング加工法により複数個の同一形状のものを製造することは極めて容易であり、特性のそろった対を作るのに適している。

又コリオリ力検出の感度を向上させる有効な手段としては、慣性変換部 8 の固有振動数とコリオリ力検出部 14 の固有振動数を一致させることが望ましい。この固有振動数の一致によって、検出感度を Q 倍に向上させることができる。

本発明の構成においては、測定軸 Z を基板の横

機械軸に一致させることで、慣性変換部8は第5図に示すようなカブス状の電極で低電力で容易に4方向に励振することができ、又基板の切出し角 α を $\alpha \pm \delta$ 程度に選定することにより温度に対する感度が極めて低い振動子を得ることができる。

<効果>

以上説明した本発明角速度計の効果をまとめると、

- (1) 小形で特性のそろった角速度計を容易に量産できる。
 - (2) フォトリソグラフィとエッチング加工技術により、高い加工精度が得られ、高精度の角速度計を実現できる。
 - (3) 組立部がなく、慣性変換部、パネ部、検出部を三位一体構造で作れるため、故障の確率が低く、信頼性が極めて高く、かつ長期的な安定性の優れた角速度計が得られる。
- となり、きびしい環境条件で小型、高精度、高信頼度が要求される航空機等に用いられる角速度センサとして最適である。

4. 図面の簡単な説明

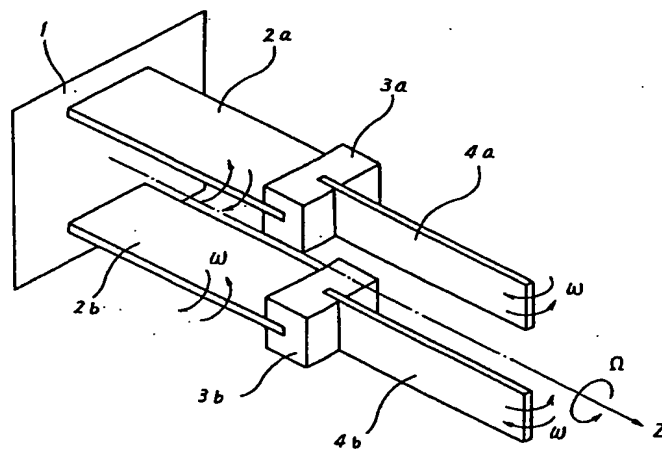
第1図は従来の振動式角速度計の一例を示す構成図、第2図、第3図は水晶より基板を切出す場合の各軸の説明図、第4図は水晶基板に対するエッチングの工程説明図、第5図は本発明角速度計の一実施例を示す構成図、第6図乃至第10図は本発明の他の実施例を示す構成図、第11図は振動式角速度計の信号処理の概念を示すブロック線図である。

7…フレーム、8…慣性変換部、9, 15, 21, 22…リガメント、10_a, 10_b…電極、14…コリオリ力検出部、16…コイル、Z…回転軸。

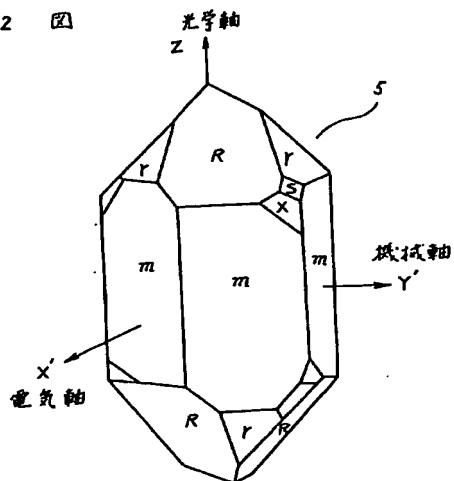
代理人 弁理士 小沢信助



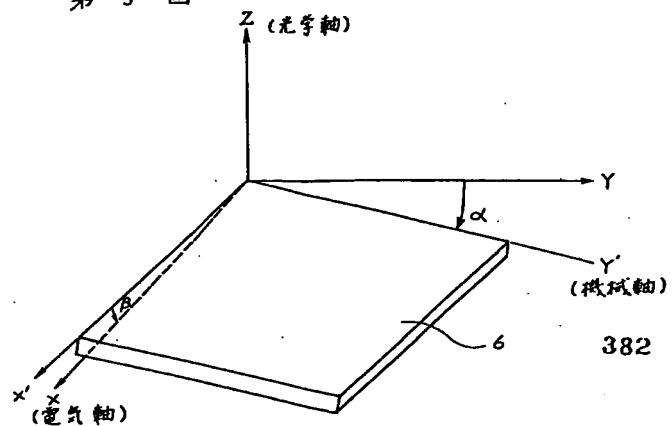
第 1 図



第 2 図

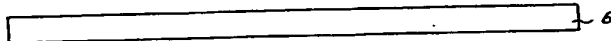


第 3 図

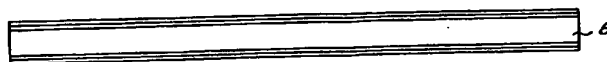


第 4 図

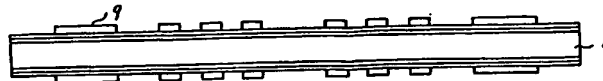
(1) 水晶基板



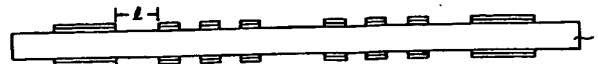
(2) クロム (Cr) と金 (Au) のスパッタ



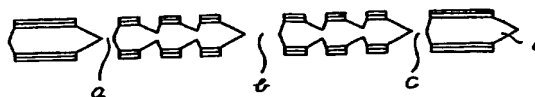
(3) レジスト塗布・露光・現像



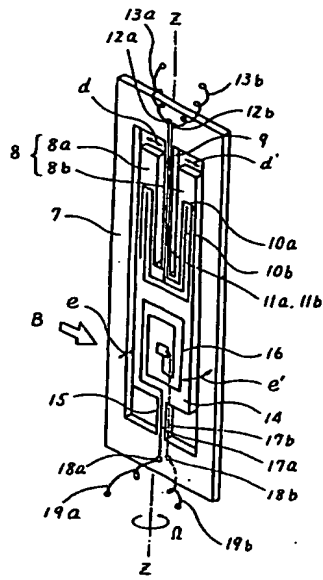
(4) 金とクロムをエッチング



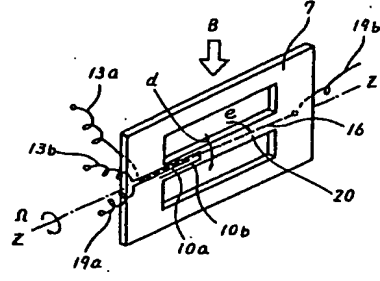
(5) 水晶の異方性エッチング



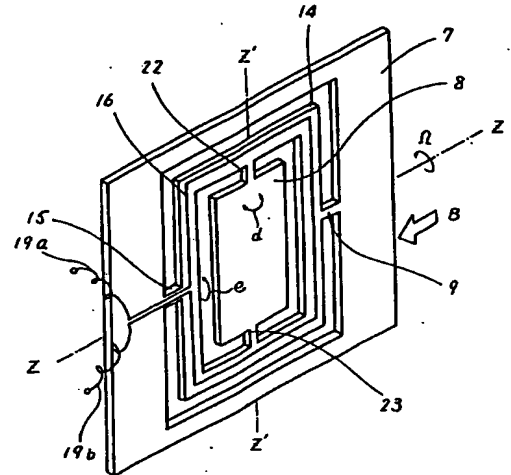
第 5 図



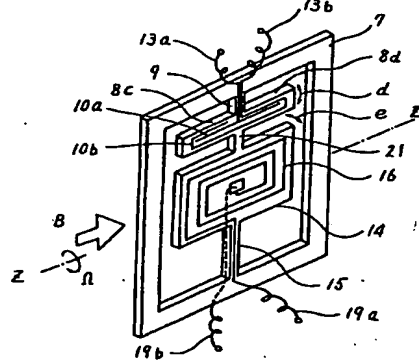
第 6 図



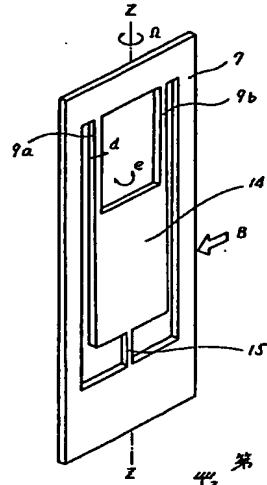
第 8 図



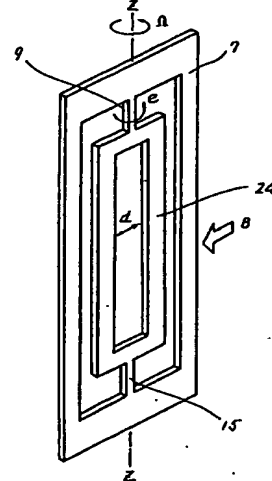
第 7 図



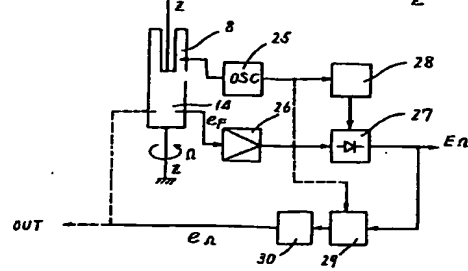
第 9 図



第 10 図



第 11 図



THIS PAGE BLANK (USPTO)